

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroenergetiky

Akumulátorové baterie – životnost, spolehlivost a technické
možnosti

Storage battery – Lifespan, Reliability and Technical Possibilities of
Energy Storage

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroenergetiky

Zadání bakalářské práce

Student: **Michael Žolcer**
Studijní program: B2649 Elektrotechnika
Studijní obor: 3907R001 Elektroenergetika
Téma: Akumulátorové baterie - životnost, spolehlivost a technické možnosti
akumulace energie
Storage Battery - Lifespan, Reliability and Technical Possibilities of
Energy Storage

Zásady pro vypracování:

Typy akumulátorů elektrické energie
Spolehlivost a životnost akumulátorů elektrické energie
Types of electric energy storage devices
Reliability and lifespan of energy storage devices


Seznam doporučené odborné literatury:

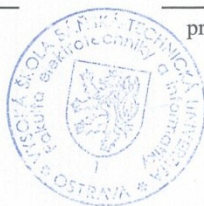
Kozumplík, Josef: Olověné baterie
Hodinář, Václav et al: Akumulátory a baterie

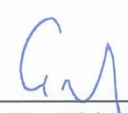
Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Tadeusz Sikora, Ph.D.**

Datum zadání: 30.11.2012
Datum odevzdání: 07.05.2013


prof. Ing. Stanislav Rusek, CSc.
vedoucí katedry




prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

Poděkování

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Tadeuszi Sikorovi, Ph.D. za vhodnou metodickou a odbornou pomoc při řešení bakalářské práce.

Prohlášení studenta

„Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.“

V Ostravě dne 6.5.2013

Podpis.....



Abstrakt

Hlavním cílem této práce je shromáždit údaje o nejvyžívanějších akumulacních bateriích, se kterými se setkáváme téměř každý den, získat základní přehled o technologických výroby akumulacních bateriích, způsobu činnosti, složení, historii vzniku a jejich vývojovém pokroku. Prameny této bakalářské práce byly čerpány z nejvíce dostupných publikací a článků z české i zahraniční literatury. Práce je rozdělena do několika částí. V první části jsou uvedeny základní principy funkce a rozdělení elektrochemických akumulátorů. Dále jsou popsány všechny možné způsoby zapojení akumulátorů a také obecné historické poznatky. Hlavní část popisuje, na jakém principu akumulacní baterie fungují, vlastnosti jednotlivých typů a jejich provozní parametry. Zde je uvedeno také srovnání akumulacních baterií a jsou popsány jejich výhody a nevýhody. Poslední část této bakalářské práce shrnuje výsledky všech zmiňovaných typů akumulacních baterií na základě zjištěných vlastností.

Klíčová slova

Akumulacní baterie, Li-Ion, Li-Air, NaS akumulátor, NiCd, recyklace, primární článek, sekundární článek, olověný akumulátor

Abstract

The aim of this bachelor thesis is to gather information about the most frequently used storage batteries, which people meet every day, get basic view about technological production method of storage batteries, principal of their working, structure, their origin and their development progression. This bachelor thesis takes information from Czech and foreign literature. The thesis is divided from several chapters. In the first article there are information about working and distribution of electrochemical battery. The next article talks about connection of storage batteries and historical facts about them. The main part is about working of storage batteries, properties and operating parameters. There is comparison of storage batteries. The last charter of this bachelor thesis summarizes results these kinds of storage batteries based on their properties

Key words

Storage battery, Li-Ion, Li-Air, NaS battery, NiCd, recycling, primary cell, secondary cell, lead-acid batter

Seznam použitých zkratk a symbolů

NiCd	Nikl-kadmiový akumulátor	
NiMH	Nikl-metal hydridový akumulátor	
Pb	Olověný akumulátor	
NiFe	Nikl-železný akumulátor	
NiZn	Nikl-zinkový akumulátor	
AgZn	Stříbro-zinkový akumulátor	
Li-Ion	Lithium-iontový akumulátor	
Li-Pol	Lithium-polymerový akumulátor	
Li-FePO ₄	Lithium-železo-fosfátový akumulátor	
LiFeMgPO ₄	Lithium-železo-magnesium-fosfátový akumulátor	
Li-Air	Lithium-vzduchový akumulátor	
NaS	Sodíkovo-sírový akumulátor	
SiO ₂	Kysličník křemičitý	
VRLA	Valve Regulated Lead Acid batteries - ventilem řízené olověné akumulátory	
AGM	Absorbed Glass Mat - elektrolyt je nasáknut ve skelné vatě mezi elektrodami	
NaOH	Hydroxid sodný	
I	Proud	[A]
U	Napětí	[V]

Seznam obrázků a tabulek

Obr. 1 Schematické zobrazení funkce primárního článku	8
Obr. 2 Schematické zobrazení funkce akumulátoru	9
Obr. 3 Sériové zapojení článků	10
Obr. 4 Paralelní zapojení článků	10
Obr. 5 Sério-paralelní zapojení článků	11
Obr. 6 Paralelně-sériové zapojení článků	11
Obr. 7 Olověný článek	14
Obr. 8 Olověný akumulátor bez horního víka	14
Obr. 9 Olověný akumulátor	14
Obr. 10 Probíhající sulfatace na elektrodách	16
Obr. 11 NiCd akumulátor	17
Obr. 12 NiMH akumulátor	19
Obr. 13 NiCd, NiMH akumulátor a jeho vnitřní struktura	19
Obr. 14 NiFe akumulátor	22
Obr. 15 NiZn akumulátor	23
Obr. 16 NiZn akumulátor	24
Obr. 17 AgZn akumulátor	26
Obr. 18 Li-Ion akumulátor a jeho vnitřní struktura	27
Obr. 19 Podíly jednotlivých akumulátorových systémů na trhu v roce 1996 a 2001	28
Obr. 20 Li-Ion akumulátor	29
Obr. 21 Li-Pol akumulátor a jeho vnitřní struktura	30
Obr. 22 Li-Pol akumulátor	31
Obr. 23 Princip Li-Air akumulátoru	33
Obr. 24 NaS akumulátor a jeho vnitřní struktura	37
Obr. 25 NaS systém, Rokkasho, Japonsko	37
Obr. 26 Výkon/Vybíjecí čas daných technologií	40
Obr. 27 Účinnost/Životnost daných technologií	41
Obr. 28 Hmotnost/Energie daných technologií	42
Obr. 29 Hmotnost Pb, NiCd a Li-Air akumulátorů	42
Tab. 1 Srovnání základních parametrů všech zmiňovaných druhů akumulátorů	38

Obsah

1	ÚVOD	7
2	ELEKTROCHEMICKÉ ČLÁNKY	8
2.1	Primární galvanické články	8
2.1.1	Základní rozdělení primárních článků	8
2.2	Sekundární galvanické články	9
3	ŘAZENÍ A SPOJOVÁNÍ ČLÁNKŮ	10
3.1	Sériové spojování článků	10
3.2	Paralelní spojování článků	10
3.3	Směšené (sério-paralelní) spojování článků	11
4	ELEKTROCHEMICKÉ ZDROJE	12
4.1	Teoretická historie, počátky elektrochemických zdrojů	12
4.2	Akumulátory na bázi olova	12
4.2.1	Olověný akumulátor	12
4.2.1.1	Druhy technologie výroby	13
4.2.1.2	Rozdělení dle použití	14
4.2.1.3	Poškození elektrod olověného akumulátoru	15
4.3	Baterie na bázi niklu	16
4.3.1	Nikl-kadmiový akumulátor	16
4.3.2	Nikl-metal hydridový akumulátor	18
4.3.3	Nikl-železný akumulátor	20
4.3.4	Nikl-zinkový akumulátor	22
4.4	Baterie na bázi stříbra	24
4.4.1	Stříbro-zinkový akumulátor	24
4.5	Baterie na bázi lithia	26
4.5.1	Li-Ion akumulátor	26
4.5.2	Li-Pol akumulátor	29
4.5.3	Lithium-železo fosfátový akumulátor	31
4.5.4	Lithium-vzduchový akumulátor	32
4.6	Ostatní akumulátory	34
4.6.1	RAM	34
4.6.2	Sodíkovo-sírový akumulátor (NaS)	35
5	SROVNÁNÍ ZÁKLADNÍCH PARAMETRŮ VŠECH ZMIŇOVANÝCH DRUHŮ	37
6	POROVNÁNÍ JEDNOTLIVÝCH TECHNOLOGIÍ	38
6.1	Výhody a nevýhody daných akumulačních technologií	38
6.2	Účinnost a životnost akumulačních systémů	39
6.3	Velikost a hmotnost akumulačních systémů	40
6.4	Poruchy a spolehlivost	41
7	ZÁVĚR	43
	LITERATURA	44

1 ÚVOD

Skladování elektrické energie nenabývalo nikdy takového významu jako v posledním desetiletí. Rozvoj akumulace elektrické energie se čas od času setkává s novými technologiemi a vývojovým pokrokem. Lidé ve vyspělých zemích se setkávají s různými typy akumulátorů každý den. Každý elektrický přístroj, který není připojený k napájecí síti (mobilní telefon, notebook, dálkový ovladač), musí ke své činnosti využít energii naakumulovanou v nějakém typu akumulátoru, neboli jinak řečeno má vlastní zásobník energie primárního článku nebo akumulátorové baterie. Tyto aparáty k uchovávání energie se stále setkávají s vývojovým pokrokem a nikdo neví, kdy se tento proces zastaví. Všechna tato zařízení pracují na principu přeměny z chemických reakcí. Nedílným pojmem pro člověka, který není seznámen s problematikou baterií, je recyklace akumulátorů, a to z důvodu ohrožení životního prostředí nebo sebe samého. V akumulátorech ať už primárních nebo sekundárních bývají obsažené těžké kovy. Téměř v každé prodejně s elektronikou je možné tyto akumulátory ponechat. Všechny odevzdané baterie jsou roztrženy a předány do recyklačních zařízení, kde jsou z nich složitými technologickými postupy získávány zejména kovy, jako olovo, nikl, zinek, mangan, kadmium, kobalt a další. [19]

2 ELEKTROCHEMICKÉ ČLÁNKY

2.1 Primární galvanické články

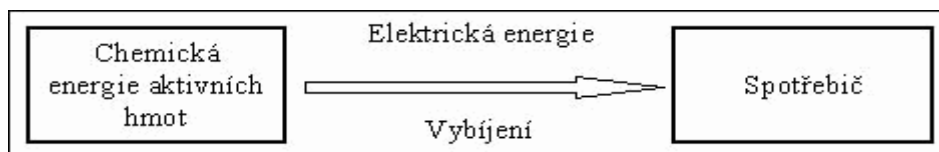
Primární články jsou chemické zdroje elektrické energie, které mají schopnost přeměnit při vybíjení chemickou energii na energii elektrickou (viz Obr. 1). Hlavními funkčními částmi primárních článků jsou kladná a záporná elektroda. Elektrolytový systém je tvořen elektrolytem, separátory a obalem neboli nádobou. Dalo by se říct, že při chemické reakci dochází k nevratné degradaci materiálů, ze kterých je primární článek vyroben. Můžeme se setkat s primárními články na bázi lithia, nebo také suché a tepelné články. [1]

2.1.1 Základní rozdělení primárních článků

Suché články – elektrolyt je tvořen formou tuhých materiálů ve formě gelu nebo tuhé pasty. Anoda bývá vyrobena ze zinku, kadmia nebo slitin hořčíku a katoda z oxidu manganičitého. Během vybíjecího cyklu těchto článků vznikají plyny, a aby nedošlo k přetlaku, musí být odvětrány (např. póry v elektrodách), tak zabráníme již zmíněného vzniku přetlaku a nevratné destrukci. Tyto články jsou k sehnání v knoflíkovém a válcovitém tvaru.

Články na bázi lithia – elektrolyt a katoda je v dnešní době tvořena širokou škálou různých chemických složení, protože lithium bouřlivě reaguje s vodou i plynným kyslíkem, používají se místo vodných elektrolytů jiné látky a jejich cena tak roste. Anoda je vyrobena z kovového lithia, nebo pomocí jejich sloučenin. V porovnání se suchými články mají lithiové vyšší měrnou energii. Jsou označovány jako spolehlivé zdroje energie s vysokou životností dosahující přibližně 15 let. A stejně jako zmiňované suché články jsou k sehnání v knoflíkovém a válcovitém tvaru různých velikostí.

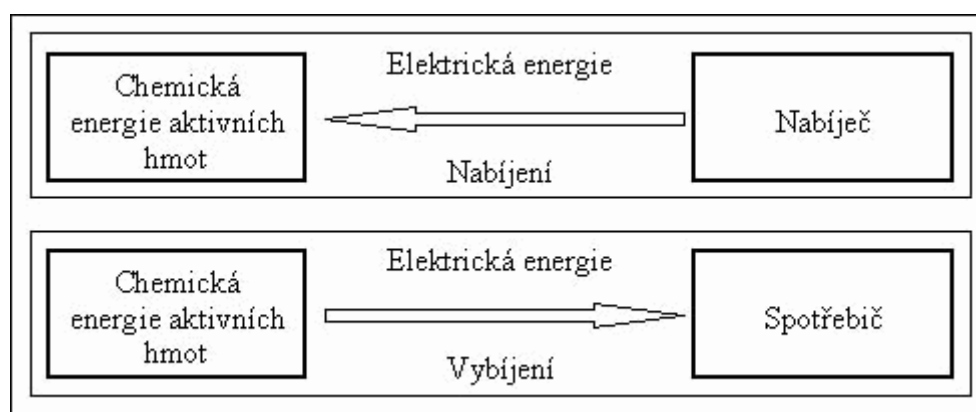
Tepelné články - Elektrochemický systém tepelné baterie je sestavena z anody vyrobené obvykle z alkalického kovu, z elektrolytu a inertní katody. Jako elektrolyt je použita anorganická sůl, která se stává vodivou až po roztavení teplem z pyrotechnického zdroje (např. směs železného prášku a perchlorátu draselného). Mezi výhody tepelných článků patří nulové samovybíjení, minimální potřeba údržby, dlouhá skladovatelnost a bezchybná činnost v širokém rozsahu teplot ($-54 - 74\text{ }^{\circ}\text{C}$). Nevýhodou je naopak vysoká povrchová teplota a nelineární napěťová charakteristika. K sehnání jsou klasicky válcovitých tvarů.



Obr. 1 Schematické zobrazení funkce primárního článku. [1]

2.2 Sekundární galvanické články (akumulátory)

Elektrické akumulátory jsou chemické zdroje elektrické energie, které jsou v průběhu nabíjení schopné přijímat elektrickou energii z vnějšího zdroje a ukládat ji (akumulovat) ve svých elektrodách jako energii chemickou (změnou chemického složení elektrochemicky aktivních složek elektrod). Při vybíjení dodává akumulátor elektrickou energii do spotřebiče, při tomto procesu se mění chemické složení aktivních složek elektrod, chemická energie v nich akumulovaná se mění na energii elektrickou. Schematické zobrazení je na Obr. 2. Hlavními funkčními částmi elektrických akumulátorů jsou kladná a záporná elektroda, elektrolytový systém tvořený elektrolytem a separátory a obal (nádobu) akumulátoru včetně proudových vývodů elektrod. [2]



Obr. 2 Schematické zobrazení funkce akumulátoru. [2]

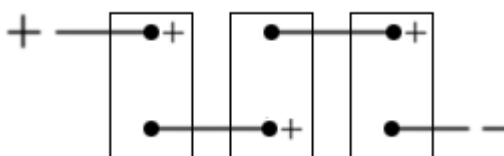
3 ŘAZENÍ A SPOJOVÁNÍ ČLÁNKŮ

Jmenovité napětí článku, které se pohybuje od 1,5-2V, nepostačuje pro praktické použití, protože většina spotřebičů vyžaduje vyšší napájecí napětí. Jednotlivé články se proto spojují do série v takovém počtu, aby baterie dosáhla potřebného napětí.

3.1 Sériové spojování článků

Články se spojují do série podle Obr. 3 tak, že záporný pól jednoho článku se spojí s kladným pólem druhého článku, záporný pól druhého článku se spojí s kladným pólem, třetího článku atd. Kapacita baterie se při sériovém spojování článků nemění a odpovídá kapacitě jednoho článku. Při spojování článků do série musí být pro zajištění správné činnosti jednotlivých článků i celé baterie a musí být dodrženy dvě podmínky.

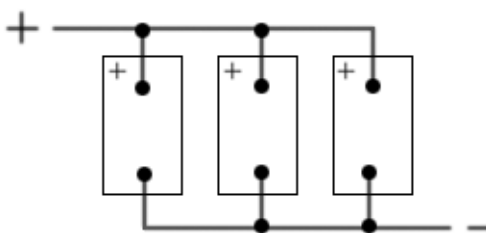
- Všechny články musí mít stejnou ampérhodinovou kapacitu
- U baterií nesmí být rozdíl v samovolném vybíjení jednotlivých článků



Obr. 3 Sériové zapojení článků.

3.2 Paralelní spojování článků

Při paralelním spojování článků se spojuje vždy kladný pól jednoho článku s kladným pólem druhého, případně dalších článků, a záporný pól jednoho článku se záporným pólem druhého a dalších článků podle Obr. 4. Při tomto spojení článků je výsledné jmenovité napětí baterie a kapacita baterie tvořena součtem kapacit paralelně spojených článků. Podmínkou správné činnosti baterie sestavené z paralelně spojených článků je stejné napětí jednotlivých článků, podmíněné stejnou hustotou a složením elektrolytu a stejnou konstrukcí elektrod.



Obr. 4 Paralelní zapojení článků .

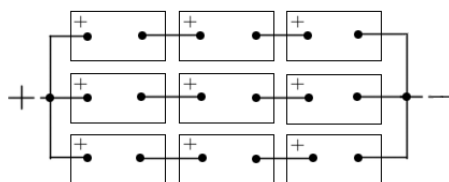
3.3 Smíšené (sériovo-paralelní) spojování článků

V praxi se používají dva možné způsoby spojování. Podle obrázku Obr. 5 je několik řad článků propojeno sériově a pak jsou paralelně spojeny všechny kladné konce řad a všechny záporné konce řad. Tento způsob spojování má při poruše některého článku baterie určité výhody, které lze charakterizovat následovně:

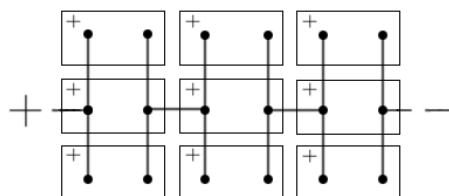
Při poškození článku nebo při přerušení obvodu v kterékoliv řadě sériově spojených článků může být tato řada odpojena a opravena, aniž dojde k přerušení provozu celé baterie. Po dobu odpojení řady a opravy článků mohou být zbývající řady nabíjeny proudem sníženým o proud odpojené řady, nebo trvale dobíjeny na předepsané konstantní napětí, aniž jsou nabíjené články poškozovány přebíjením. Uvedený způsob smíšeného spojení článků je proto vhodný pro automatické provozy a ve všech případech, kdy je požadována vysoká spolehlivost provozu akumulátorů.

Podle obrázku Obr. 6 jsou jednotlivé články nejprve propojeny paralelně a pak teprve paralelní řady spojovány do série. I když při bezporuchovém provozu není prakticky rozdíl mezi používanými způsoby smíšeného zapojení, je paralelní spojení článků s následujícím propojením do série vhodnější spíše pro méně náročné použití z těchto důvodů:

Při přerušení spojky sériově spojených skupin článků nastává ihned přerušení elektrického okruhu a baterie nelze nabíjet ani vybíjet. Opravu jednotlivých článků není zpravidla možné provést bez odpojení celé baterie z proudového okruhu.



Obr. 5 Sériovo-paralelní zapojení článků.



Obr. 6 Paralelně-sériové zapojení článků.

4 ELEKTROCHEMICKÉ ZDROJE

4.1 Teoretická historie, počátky elektrochemických zdrojů

Italský přírodovědec a lékař Luigi Galvani (1737-1798) při pitvání žab upozoroval, že sebou žabí stehýnka položená na plechu při dotyku operačního nože lehce škubají. V letech 1780 až 1790 provedl Galvani mnoho pokusů s žabími stehýnkami. Mylně se domníval, že cukání žabích stehýnek způsobuje “živočišná” elektřina. Na pokusy Luigiho navázal další Ital Alessandro Volta (1745-1827). Svůj objev zveřejnil roku 1800 v Londýně. Volta později sestrojil první elektrický článek a na počest svého předchůdce nazval vyráběný proud. Tento vynález nesl název Voltův sloup. Jednalo se o galvanickou baterii tvořenou několika sériově zapojenými elektrickými články se zinkovou a měděnou elektrodou. Skládal se z navrstvených měděných a zinkových plíšků, proložených plátkou kůže, které byly provlhčeny okyseleným roztokem. [33]

4.2 Akumulátory na bázi olova

4.2.1 Olověný akumulátor

Historie

Prvním elektrochemickým článkem s vratným charakterem chemických reakcí byl akumulátor olověný. Účinky stejnosměrného elektrického proudu na olovo pozoroval v roce 1825 Kastner a dále se tímto jevem zabývali Wheatstone v roce 1843 a Josef Sindstenden v roce 1854. První prakticky použitelný akumulátor zhotovil Gaston Planté roku 1859 vytvořením aktivní vrstvy elektrolytickou cestou na olověných deskách ponořených do roztoku kyseliny sírové.

Parametry, Aplikace a technologie výroby

Olověný akumulátor našel pro své vlastnosti široké uplatnění v mnoha oborech lidské činnosti. Olověný akumulátor je sekundární galvanický článek s elektrodami na bázi olova, jehož elektrolytem je kyselina sírová. Vyrábějí se v kapacitách řádově od 1 do 10 000 Ah. Jejich hlavními výhodami je dobře zvládnutá technologie výroby, relativně nízká cena a vysoký výkon – např. pro startování automobilů se jiné články než olověné prakticky nedají použít (dobrá proudová zatížitelnost). Olověné akumulátory jsou označovány vysokou spolehlivostí, velmi nízkými nároky na údržbu a vysokým napětím článku. Při procesu vybíjení se aktivní hmota kladné i záporné elektrody přeměňuje na síran olovnatý (PbSO_4), zároveň je elektrolyt ochuzován o kyselinu sírovou a obohacován o vodu. Při vybíjení tedy koncentrace elektrolytu klesá a roste naopak při nabíjení.

Celková reakce vybíjení:



U olověných akumulátorů se objevují 4 technologie výroby.

4.2.1.1 Druhy technologie výroby

Akumulátory uzavřené větrané (se zaplavenými elektrodami)

Do této skupiny zařazujeme všechny konstrukce akumulátorů s elektrodami ponořené do elektrolytu. U těchto typů akumulátorů je nezbytné, aby byl vybaven plnicím prostorem, ve kterém se během provozu pohybuje hladina elektrolytu, a prostor plynovací, pro unikající plyny vznikající elektrolýzou vody obsažené v elektrolytu. Tyto akumulátory se dodávají ve dvou typech. Buď s elektrolytem, nebo v tzv. suchém stavu. Výhodou typu s elektrolytem je možnost okamžitého použití. Nevýhodou je nevhodnost dlouhodobého skladování před použitím. Baterie ztrácejí samovybíjením elektrický náboj a nejsou-li včas nabity, mohou se poškodit nevratnou sulfatací. Do akumulátorů, které jsou dodávány v tzv. suchém stavu, je elektrolyt nalit těsně před použitím. Dají se dlouhodobě skladovat a na jeho elektrodách nedochází k sulfataci.

Akumulátory řízené ventilem

VRLA (z anglického Valve Regulated Lead Acid) z překladu ventilem řízené olověné akumulátory. Dále se dělí na AGM a gelové akumulátory. Neobsahují elektrolyt v kapalném skupenství jako akumulátory se zaplavenými elektrodami. V praxi mohou pracovat v libovolné poloze, přičemž poloha dnem vzhůru je méně vhodná.

Akumulátory AGM

(z anglického absorbed glass mat) - elektrolyt je nasáknut ve skelné vatě, která je mezi elektrodami. Mezi jemnými skleněnými vlákny zůstávají póry umožňující difuzi kyslíku od kladných elektrod k elektrodám záporným. Kyslík se váže na aktivní hmotu záporných elektrod, kterou je porézní olovo. Oxid olovnatý pak reaguje s ionty kyseliny sírové za vzniku síranu olovnatého. Tyto akumulátory dosahují podle konstrukce životnosti 5 až 12 let.

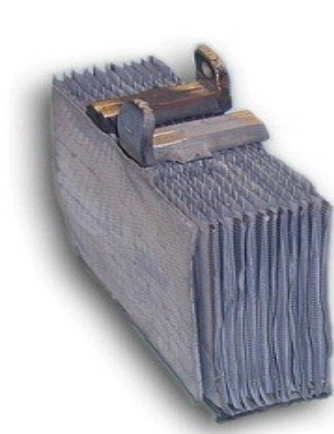
Akumulátory gelové

Obsahují elektrolyt ztužený tixotropním gelem SiO_2 . V gelu se během nabíjení vytvoří kanálky, kterými pak difunduje kyslík vznikající na kladných elektrodách k elektrodám záporným. Životnost těchto akumulátorů se uvádí v letech 15-18 let. Články mohou pracovat ve stojaté i ležaté poloze. Určitou nevýhodou je jejich poněkud větší vnitřní elektrický odpor v porovnání s akumulátory AGM.

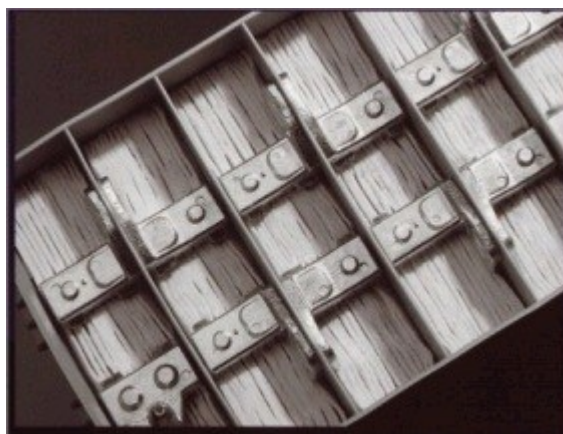
4.2.1.2 Rozdělení dle použití

Startovací

Jde o klasické autobaterie, které jsou tvořené většinou 6 články o napětí přibližně 2V. Olověné startovací baterie se užívají kvůli schopnosti dodat najednou velký proud (při startování vozidla) bez poškození. Shrneme-li vlastnosti olověného akumulátoru, pak jako výhodu můžeme označit nízký vnitřní odpor, schopnost dodat po krátký okamžik vysoký proud, vysokou energetickou účinnost, schopnost zvládnout poměrně náročné provozní podmínky ve vozidle a přijatelný poměr cena/výkon. Jako nevýhody můžeme označit zejména omezenou životnost a velkou hmotnost. Životnost startovacího akumulátoru je přibližně 3-4 roky.



Obr. 7 Olověný článek. [5]



Obr. 8 Olověný akumulátor bez horního víka. [5]



Obr. 9 Olověný akumulátor. [bannerbatterien.com]

Dopravní (trakční) akumulátory

Trakční baterie se navenek nijak neliší od nejznámějšího typu akumulátoru, jakým je autobaterie. Autobaterie je konstrukčně navržena tak, aby vždy podala maximální výkon v jednom krátkém okamžiku a poté byla tato energie opět alternátorem doplněna. Delší a opakované vybíjení autobaterií škodí. Z tohoto hlediska je trakční baterie přesný opak a plní téměř výhradně jediný účel. Nahromaděná energie se odčerpává pomalu, zpravidla až do úplného vybití a jednorázový krátký

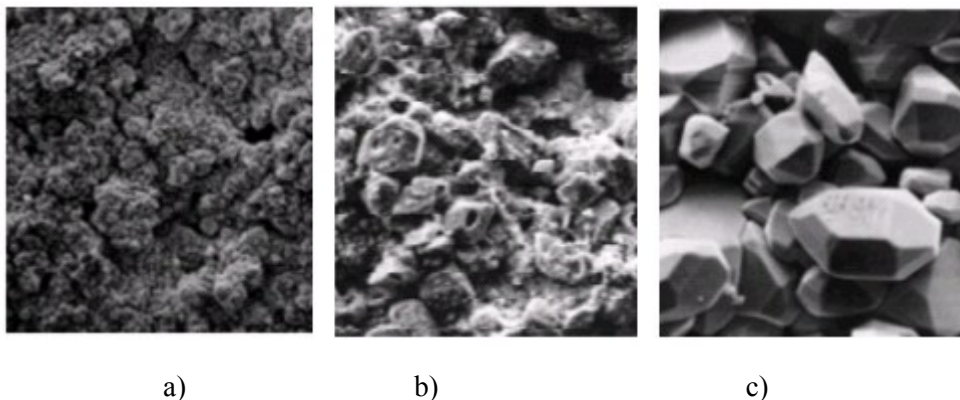
velký odběr proudu baterii neprospívá. Obecně platí, že každá olověná baterie trpí opakovaným hlubokým vybíjením, ale pouze trakční baterie jsou navrženy tak, aby tomuto jevu co nejlépe odolávaly. Používají se jako zdroj energie k pohonu elektrických dopravních prostředků (například invalidních a golfových vozíků, čistících strojů, elektrických člunů a další).

Staniční akumulátory

Slouží jako zdroje nouzového napájení při přerušení dodávky elektrické energie z elektrovodné sítě. Využívá se především v nemocnicích, divadlech, kinech, bankách, telekomunikačních a radiokomunikačních soustavách a všude, kde by přerušení dodávky elektrické energie mohlo způsobit vážné technologické problémy, ekonomické ztráty a ohrožení lidských životů. Proto se požaduje vysoká provozní spolehlivost a dlouhá životnost, která se pohybuje v období 5-10 let.

4.2.1.3 Poškození elektrod olověného akumulátoru - sulfatace

Sulfatace je tvorba síranu olovnatého vznikající při vybíjení akumulátoru. Síran olovnatý tvoří na mřížkách akumulátoru drobné, jemné krystalky, které se časem přetvářejí na větší, neboť PbSO_4 se přednostně váže na již vzniklé krystaly. Tyto sírany (sulfáty – proto sulfatace) svým povlakem postupně snižují účinnou plochu elektrod (mřížek), které se tak nemohou účastnit elektrochemických reakcí v akumulátoru. Tento proces snižuje kapacitu akumulátoru a zvyšuje jeho vnitřní odpor. K největší sulfataci dochází při nedobíjení, velké krystalky PbSO_4 zůstanou neredukovány a při každém dalším vybíjení dále narůstají. PbSO_4 tvoří čiré lesklé krystaly, podobné sklu. Sulfataci podporuje hluboké vybíjení (u 6článekového olověného akumulátoru napětí 10,5 V nebo méně), dále vybíjení nebo nabíjení velkými proudy. Při masivní sulfataci je akumulátor nepoužitelný.



Obr. 10 Probíhající sulfatace na elektrodách. [5]

- a – elektrody bez sulfatace
- b – elektrody s počáteční sulfatací
- c – elektrody s masivní sulfatací

([3], [4], [5], [6], [7])

4.3 Baterie na bázi niklu

4.3.1 Nikl-kadmiový akumulátor

Historie

Prvním prakticky použitelným alkalickým akumulátorem se stal na počátku 20. století tzv. Edisonův železoniklový akumulátor, jehož elektrolytem byl roztok hydroxidu sodného (NaOH). Záměnou sloučenin železa jako aktivní složky záporné elektrody kadmíem vytvořil Švéd W. Jungner mnohem dokonalejší nikl-kadmiový akumulátor. Průmyslová výroba hermetických akumulátorů a akumulátorů se sintrovanými elektrodami se rozvinula po druhé světové válce především ve Francii a v Německu. Otevřené NiCd baterie se začaly původně používat v leteckých aplikacích, kde byla hlavním parametrem vysoká výkonnost bez ohledu na cenu.

Elektrochemická reakce, princip

Elektrochemické děje v průběhu nabíjení a vybíjení je možno velmi zjednodušeně popsat pomocí následující rovnice:



Nikl-kadmiový akumulátor je složen ze tří vrstev. Kladnou elektrodu tvoří hydroxid niklu, zápornou (jedovaté) kadmium. Obě elektrody odděluje separátor obsahující elektrolyt hydroxid draselný, ten je většinou rozpuštěn ve vodě. Elektrody jsou spojeny s kladným a záporným vývodem (pólem).

Parametry a aplikace

Výhodou oproti ostatním typům je vysoká proudová zatížitelnost, relativně malá změna napětí v průběhu vybíjení, odolnost vůči mrazu (až do -15°C), vůči různým rázům a vibracím. Proto jsou vhodná pro napájení profesionálního akumulátorového nářadí. Další výhodou je schopnost rychlého a velmi rychlého nabíjení a také možnost skladování ve vybitém stavu. Tyto akumulátory jsou velice

levné, spolehlivé a jejich životnost se pohybuje okolo 850 cyklů, ale ne vždy je to pravdou. Především u NiCd baterii se uvádí, že baterie není potřeba vybíjet až do úplného vybití. Pokud použijeme 30% kapacity baterie a poté ji dobijeme, můžeme dosáhnout až 3000 cyklů. Při 50% využití a následném plném dobíjení můžeme dosáhnout až 2000 cyklů. U 100% vybití a následném nabití dosáhneme zmiňovaných 850 cyklů. Další výhodou je, že tento typ baterie prakticky nepodléhá tzv. "Paměťovému efektu". Firma Gates uvedla, že je v praxi téměř nemožné se s tímto pojmem u těchto baterii setkat. Baterie by se musela mnohokrát vybit na stejnou hodnotu. Naopak jejich nevýhodou je menší měrná energie vztahovaná na hmotnost nebo objem, náhlý pokles napětí na konci vybíjení a také se často uvádí obsah kadmia, které je klasifikováno jako látka škodlivá k životnímu prostředí. Další nevýhodou u těchto baterii je neustálé vybíjení pod kritickou hodnotu. Důvodem je, že jeden ze článků tvořících baterii se vyčerpá dříve a ostatní "živé" články udržují vybíjecí proud skrze vyčerpaný článek. To vede ke stavu známému jako „overdischarge“. Zdravé NiCd články mají celkem plochou vybíjecí křivku. Výrobce udává jmenovité napětí článku 1,2 V, dokud není většina jejich náboje vyčerpaná, tehdy velmi rychle poklesne napětí, až na hodnotu 0,9-1,1 V. Firma Gates uvádí, že by při takovémto poklesu napětí měla být baterie považována za vybitou. Odůvodňuje to faktem, že malé množství zůstatkového náboje nemůže být bezpečně odebráno, bez rizika jevu "overdischarge" a následného poškození článku. Proto většina dobře vyrobených kamer a notebooků obsahuje tzv. power manager hardware, který sleduje napětí na baterii. Když napětí klesne pod kritickou hodnotu, prohlásí systém baterii za vybitou a zařízení vypne. Dalším pojmem, se kterým se můžeme setkat u NiCd akumulátorů, je napěťová deprese, kde dochází k poklesu napětí při vybíjení, za následek to má hlavně dlouhodobé přebíjení a opakované neúplné vybíjení baterie. Projektová životnost současných baterii je přibližně 20 let, ale stejně jak u jiných bateriových systémů, dochází při zvýšené teplotě ke snížení očekávané životnosti. Snížení životnosti v závislosti na teplotě je však u NiCd baterii mnohem méně výrazné než u baterií olověných. V praxi se můžeme setkat se třemi typy těchto akumulátorů a to jsou válcové, knoflíkové a prizmatické (hranolové). ([8], [9], [27])



Obr. 11 NiCd akumulátor. [diytrade.com]

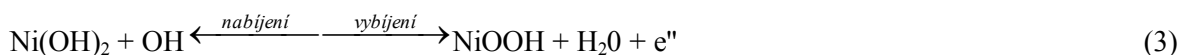
4.3.2 Nikl-metal hydridový akumulátor

Historie

Intenzivní výzkum a vývoj NiMH akumulátorů byl zahájen v 80. letech minulého století. Hlavním důvodem byly požadavky ekologů na náhradu škodlivého kadmia vhodnějším materiálem. První výrobky trpěly řadou „dětských nemocí“, hlavně velmi vysokým samovybíjením, zhoršování funkceschopnosti během skladování a vysokou cenou. Velmi rychle však nastalo zlepšování užitých vlastností, které dále pokračuje a NiMH akumulátory se staly běžným výrobkem, především v mobilní technice.

Elektrochemická reakce, princip

Kladná elektroda NiMH akumulátorů má stejnou konstrukci a stejné složení aktivní hmoty jako kladná elektroda NiCd akumulátorů. To znamená, že rovněž elektrochemické změny probíhající při nabíjení a vybíjení jsou shodné a jsou popsány následující rovnicí:



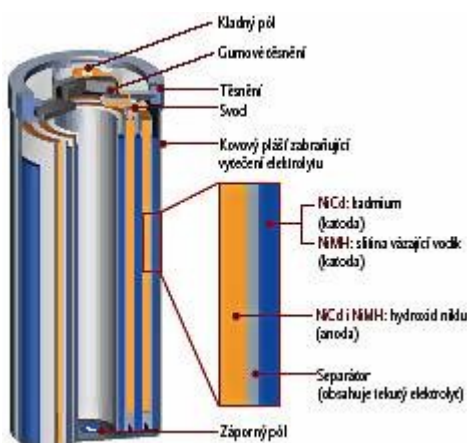
Parametry a aplikace

Ve srovnání s jemu podobným nikl-kadmiovým akumulátorem má přibližně dvojnásobnou kapacitu. Hlavními důvody jeho velkého rozšíření je jeho značně velká kapacita a schopnost dodávat poměrně velký proud spolu s přijatelnou cenou. Nevýhodou je menší rozsah klimatických a mechanických odolností, větší vnitřní impedance a vyšší cena. Jmenovité napětí je 1,2 V. Napětí (naprázdno) plně nabitého článku je 1,4 V; napětí vybitého článku je 1,0 V. Nevýhodou tohoto akumulátoru je dost velká úroveň samovybíjení – asi 15-30 % za měsíc při pokojové teplotě. Při nižších teplotách se samovybíjení podstatně sníží. Také se sníží, pokud jsou vyráběny akumulátory s menší kapacitou, čím menší kapacita, tím menší procento samovybíjení za měsíc. Po velkém počtu cyklů nastává u NiMH baterie postupné snižování kapacity, důsledkem je neúplné vybití baterie, aktivní materiály, které neprošly cyklickou změnou, zvyšují svůj odpor. Následné úplné cykly nabíjení/vybíjení navrátí aktivní materiály do jejich původního stavu. Velikost napěťové deprese a úbytku kapacity závisí na hloubce vybití a můžeme se jim vyhnout vybíjením baterie na vhodné konečné napětí. Využití NiMH akumulátorů je v oblasti mobilní komunikace a bezšňůrových telefonů, kde převzaly větší část trhu po NiCd bateriích. Prozatím se dělí s akumulátory Li-Ion, které pomalu začínají tento segment ovládat. Novou oblastí pro NiMH akumulátory jsou již zmíněná elektrická kola a skútry a automobily.

Stejně tak jako u předchůdce NiCd akumulátorů se můžeme v praxi setkat se třemi typy těchto akumulátorů a to jsou válcové, knoflíkové a prizmatické (hranolové).



Obr. 12 NiMH akumulátor. [10]



Obr. 13 NiCd, NiMH akumulátor a jeho vnitřní struktura. [8]

Porovnání NiCd a NiMH

Výhody NiMH oproti NiCd článkům:

- mají menší napěťovou depresi a jsou méně citlivé na přebíjení,
- NiMH akumulátor ve srovnání s jemu podobným nikl-kadmiovým akumulátorem má přibližně dvojnásobnou kapacitu oproti bateriím přibližně stejných rozměrů. (např. akumulátory s rozměrem F, u kterého se jmenovitá kapacita pohybuje kolem 13,5 Ah (SAFT typ VH F) a kapacita rozměru F v NiCd akumulátoru je přibližně 7 Ah),
- jsou šetrnější k životnímu prostředí, mají nižší obsah toxických kovů (Cd), obsahují pouze 0,4% celkové hmotnosti na rozdíl od NiCd kde je použito přes 20%,
- mohou pracovat ve větším rozsahu teplot.

Výhody NiCd oproti NiMH článkům:

- počet cyklů, u NiMH baterii je stanoveno přibližně 400-700 cyklů nabíjení/vybíjení, v přímé spojitosti s hloubkou vybití. U NiCd baterii můžeme dosahovat okolo 850 cyklů nabíjení/vybíjení,
- možnost rychlého nabíjení – 40% kapacity můžeme dosáhnout u NiCd baterie téměř za 20 minut, stejné kapacity při nabíjení u NiMH dosáhneme přibližně za hodinu,
- vybíjecí proud NiMH baterie je podstatně nižší jako u NiCd baterie. U NiCd baterie se tato hodnota pohybuje přibližně u 5násobku své jmenovité kapacity a u NiMH je to 3násobek jmenovité kapacity akumulátoru,
- vysoké samovybíjení: NiMH i NiCd postihuje poměrně velké samovybíjení. NiCd baterie ztratí za 24 hodin přibližně 10% své kapacity a poté se vybíjení ustálí na hladině 10% za měsíc. U NiMH baterie je hladina samovybíjení poměrně větší, za měsíc se tento akumulátor zbaví přibližně 15-30% své kapacity a to hlavně v důsledku úniku atomu vodíku,
- cenově dostupnější.

([8], [9], [10], [27])

4.3.3 Nikl-železný akumulátor

Historie

Thomas Edison začal s prvními experimenty na nabíjecích bateriích využívající nikl a železo přibližně před sto lety, tehdy se psal rok 1901 a to vše, aby vyvinul funkční elektromobil. To se mu také povedlo a zanedlouho sloužili jeho baterie jako zdroj energie pro automobil Detroit Electric a Baker Electric. Thomas Edison získal také mnoho patentů na nikl-železné akumulátory, jeden v roce 1901 a druhý o rok později.

Elektrochemická reakce, princip

Katoda je z hydroxidu-nikelnatého, někdy se přidávají různé příměsi, aby se vylepšila jejich vodivost (např. grafit nebo šupinkový nikl). Anoda je ze železa a jako elektrolyt je většinou použit hydroxid draselný, toto vše je uloženo v poniklovaném ocelovém válci, nebo se často můžeme setkat s nádobou v podobě hranolu.



Parametry a aplikace

Tento typ akumulátoru je prezentován jako neškodlivý životnímu prostředí, jelikož v jeho struktuře není použitý žádný těžký kov jako u olověných akumulátorů, nebo například nedostatkové a životu nebezpečné kadmium. Tyto akumulátory se vyznačují velice vysokou životností, dosahuje až 25 roků a až 4000 cyklů. Samovybíjení akumulátorů NiFe je vyšší než u akumulátorů NiCd. Jejich použití je výhodné pro trakci tam, kde se každý den nabíjí a vybíjí mnohokrát. Tyto akumulátory jsou zároveň odolnější proti přebíjení a hlubšímu vybíjení. Každým dnem se pracuje na zlepšování parametrů tohoto typu akumulátoru. Hlavně je požadováno, aby pokleslo samovybíjení a prodloužila se doba uskladnění. Vybíjecí křivky akumulátorů NiFe jsou podobné vybíjecím křivkám akumulátorům NiCd. Nikl-železné baterie se již dlouho používají v evropských důlních provozech, protože mají vysokou schopnost odolávat vibracím a vysokým teplotám. Jsou zkoumány pro použití ve větrných a solárních energetických systémech, kde hmotnost baterie není důležitá.

Porovnání NiFe s NiCd, NiMH

Výhody NiFe oproti NiMH, NiCd článkům:

- hlavní výhodou je větší odolnost proti přebíjení a hlubšímu vybíjení,
- významná životnost v řádech několika desítek let, nebo mnoho nabíjecích a vybíjecích cyklů,
- neobsahuje toxické a zároveň nedostatkové kadmium.

Nevýhody NiFe oproti NiMH, NiCd článkům:

- s poklesem teploty výkon akumulátorů klesá,
- samovybíjení je značně vyšší než u NiMH a NiCd baterií.

([7], [9], [11])



Obr. 14 NiFe akumulátor. [newtaihang.en.busytrade.com]

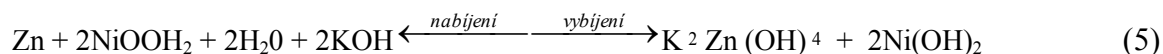
4.3.4 Nikl-zinkový akumulátor

Historie

Tyto akumulční baterie jsou známé již více než 100 let a od roku 2000 se vývoj těchto akumulátorů natolik zdokonalil, že dokázali být konkurence schopné akumulátorům NiCd a NiMH. Z důvodu nízké životnosti však nedošlo v historii ke komerčnímu rozšíření. V současné době se však ukazuje potenciál tohoto článku díky dobrým elektrickým vlastnostem a dobré recyklovatelnosti. Ty je však možno využít až pokud se podaří navýšit životnost článku. Tímto směrem se tedy upírá nejvíce pozornosti při jeho vývoji. Hlavní perspektiva využití nikl-zinkových akumulátorů je jako náhrada nikl-kadmiových akumulátorů. Ty přestávají být v současnosti vyhovující z důvodu obsahu kadmia, které je obtížně recyklovatelné.

Elektrochemická reakce, princip

Kladný pól NiZn článku je tvořen z niklu a záporná elektroda ze zinku. Jako elektrolyt je použitý vodný roztok hydroxidu draselného, ten však může být v rámci snah o zvýšení životnosti akumulátoru a zabránění dendritickému růstu zinkové elektrody, obohacen o různé příměsi. Dříve se využívaly články otevřené. V současné době se vyskytují hlavně hermeticky uzavřené akumulátory (s omezeným množstvím elektrolytu). Je využívám pro řadu výhod, které má.



Uvedené užitečné reakce nejsou jediné, které v článku probíhají, kromě nich lze pozorovat i reakce parazitní: jednak korozi zinku, provázenou vylučováním vodíku a také uvolňování kyslíku a vodíku při nabíjení článku.

Parametry a aplikace

Jejich životnost se uvádí v řádech několika stovek cyklů a jejich jmenovité napětí je oproti většině konkurenčních akumulátorů o 0,4V větší, tudíž plně nabitý NiZn akumulátor má jmenovité napětí 1,6V. V současné době se vývojem akumulátorů NiZn zabývá množství firem. Systém je velmi nadějný pro použití v elektrické trakci (elektrická kola, vozidla, skútry). Tyto akumulátory mají potenciál nahradit olovené akumulátory díky jejich vyšší energii a síle v poměru k hmotnosti (stejná energie, ale o 75% menší hmotnost). V neposlední řadě jde o systém poměrně levný a ekologicky šetrný vůči životnímu prostředí. Vývoj již delší dobu sledují v mnoha rozvojových zemích, jako jsou:

USA, Japonsku, Německu atd. V dnešní době jsou vyráběny v mnoha velikostech od Sub C až po velikosti AAA. Články, které mají v současnosti nejlepší vlastnosti a jsou dodávány od Firmy Evercel se sídlem v USA a Číně.



Obr. 15 NiZn akumulátor. [electronics-lab.com]

Články Evercel

Tyto články v současné době mají zřejmě nejlepší vlastnosti. Vyrábí je firma Evercel, dříve Energy Research Corp., v Dunbury (USA) a Číně. Vzhled prizmatických článků je patrný z obr. 16.

Články Evercel mají podle údajů výrobce tyto vlastnosti: měrná energie $>60 \text{ W.h/kg}$, hustota energie $>80 \text{ W.h/l}$, špičkový výkon $>280 \text{ W/kg}$, samovybití $<20 \%$ po 30 dnech skladování při pokojové teplotě, životnost >500 cyklů při 100% vybíjení. Články (akumulátory) se nabíjejí nabíječem, který je speciálně vyvinut firmou Evercel. Běžné nabíjení článku do plně nabitého stavu trvá osm hodin.



Obr. 16 NiZn akumulátor. [e-car-electric.com]

Porovnání NiZn s jinými druhy akumulátorů

Výhody NiZn oproti jiným druhům akumulátorů

- NiZn akumulátory jsou použitelné pro aplikace, kdy běžné NiMH akumulátory nevyhovují kvůli nízkému napětí
- Jsou levnější než NiCd akumulátory, ale dražší než olověné akumulátory, ale jak již bylo řečeno, oproti olověným akumulátorům mají vyšší energii a větší sílu v poměru na hmotnost
- Zinek a nikl jsou snadno dostupné prvky v přírodě a jsou relativně snadno recyklovatelné či ekologicky odbouratelné
- Vyšší jmenovité napětí

Nevýhody NiZn oproti jiným druhům akumulátorů

- Nestejná nabíjitelnost elektrod (u zinkové elektrody je téměř 100%, u niklové elektrody je jen 90%)
- Snadno se při nabíjení tvoří kovové dendrity (stroměčkovité útvary), které mohou způsobit vnitřní zkratky průnikem přes separaci
- Dalším velkým problémem jsou tvarové změny zinkových elektrody při cyklování článku, které mají velkou rozpustnost při vybíjení v alkalickém elektrolytu

([7], [12], [13])

4.4 Baterie na bázi stříbra

4.4.1 Stříbro-zinkový akumulátor

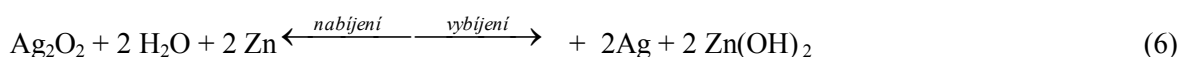
Historie

Jsou první konstrukcí akumulátoru s alkalickým elektrolytem využívající záporné zinkové elektrody. Až do objevu lithiových článků měly stříbro-zinkové články nejvyšší známou energetickou hustotu. Stříbro-zinkové baterie mají za sebou dlouhou a úspěšnou historii použití ve vojenských, mezinárodních kosmických programech (v misích Apollo – Lunar Rover) a v podvodních mořských aplikacích.

Elektrochemická reakce, princip

Tato baterie obsahuje katodu ze stříbra a anodu z oxidu zinku, elektrolyt je tvořen z hydroxidu draselného nebo z hydroxidu sodného.

Chemická reakce, která probíhá uvnitř baterie je následující:



Parametry a aplikace

Stříbro zinkové baterie se vyrábějí jako primární, ale i jako sekundární baterie. Jmenovité napětí je 1.55 V. Co se týká životnosti, jsou tyto baterie schopny vydržet až 200 cyklů při plném vybití a až 1000 cyklů při průběžném plnění. Tyto akumulátory mají největší měrnou energii z akumulátorů s vodnými roztoky, dosahují hodnot až 130 W.h/kg. Jednou z nedílných výhod této akumulátorové baterie je, že se dá recyklovat až 95 % materiálu obsaženého uvnitř a znovu se použít na nové baterie. Tato recyklace nemá vliv na jejich kvalitu. Tudíž můžeme říct, že se teoreticky nemusí těžit nový materiál pro tyto baterie, ale nové mohou být vyrobeny ze starých recyklovaných baterií. Jednoduše řečeno: Prvky lze recyklovat a znovu použít. S vývojem nano-technologie se posunul i vývoj těchto baterií, katoda se pokrývá nano-částicemi, které zvyšují vodivost, snižují vnitřní odpor a doba nabíjení je zkrácena. Stříbro zinkové baterie mají výrazně vyšší objemovou hustotu energie než stávající bateriové technologie lithium-iont, nikl kadmium, nebo olovené. Nutno podotknout, že použité stříbro v akumulátorech má velký vliv na cenu těchto produktů, proto jsou nejčastěji k dispozici ve velmi malých rozměrech, nebo jako knoflíkové články. V současné době se nahrazují levnějšími akumulátory, např. NiMH.

Porovnání AgZn s jinými druhy akumulátorů

Výhody AgZn oproti jiným druhům akumulátorů

- Nepoškozují se ponecháním ve vybitém stavu, mrazem, ani náhodným zkratem
- Vynikající účinnost ampérhodinovou i watthodinovou
- Malý vnitřní odpor (méně se zahřívají)
- Vysoký rozsah pracovních teplot -40 až +50°C
- Malé samovybití (při teplotě 25°C zhruba 4% za měsíc)

Nevýhody AgZn oproti jiným druhům akumulátorů

- Velice drahé oproti jiným druhům baterií



Obr. 17 AgZn akumulátor. [14]

([3], [7], [14])

4.5 Baterie na bázi lithia

4.5.1 Li-Ion akumulátor

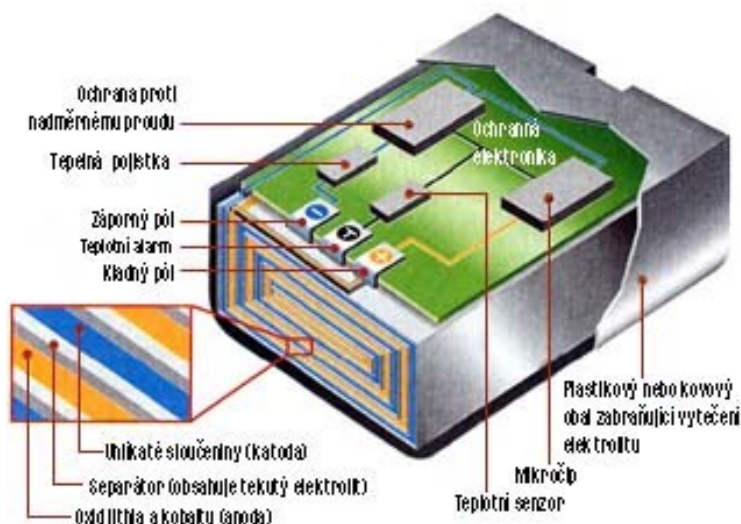
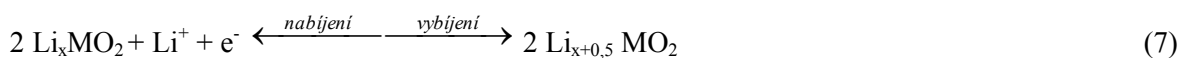
Historie

Primární lithiové články, vynalezené v polovině šedesátých let minulého století, se již od začátku vyznačovaly vysokou měrnou energií a kapacitou, velice nízkým samovybíjením a mnoho dalšími příznivými vlastnostmi. Hlavní výhoda je pak výroba i v dobíjecí verzi. Název Li-Ion akumulátorů pro tento zdroj spojený s vysokým napětím, možností nabíjení a vybíjení, s dlouhou životností, vysokou kapacitou a dobrou bezpečností, zavedl výkonný ředitel firmy SONY Energytec pan K. Tozawa. V lednu roku 1991 se již objevuje první komerční aplikace s Li-Ion technologií – mobilní telefon SONY, který přinesl okamžitý úspěch. O rok později v září přichází na trh první videokamera od SONY s Li-Iontovým akumulátorem. Než se začne s vyjmenováváním předností a nedostatků lithiových akumulátorů, je třeba zdůraznit, že tento typ akumulátorů je poměrně mladý a rok od roku se neustále zlepšují jeho vlastnosti. Mění se měrné energie, velikost vybíjecích a nabíjecích proudů, zvyšuje se životnost akumulátorů a hlavně se snižuje jejich cena, jak výrobní tak prodejní.

Elektrochemická reakce, princip

Označují se jako houpavé baterie, což do jisté míry vystihuje princip jejich činnosti. Ionty Li^+ při nabíjení a vybíjení přecházejí z kladné elektrody do záporné a naopak, takže jejich pohyb lze přirovnat k houpání. Elektrody těchto článků jsou z tzv. interkalačních sloučenin (sloučeniny, které mohou do své krystalové mřížky přijmout cizí atom nebo molekulu). Články Li-Ion obsahují lithium pouze v podobě iontů, nikoliv kovové, takže odpadají nepříjemnosti s tímto alkalickým kovem, způsobené tvorbou kovových dendritů při nabíjení článků. Materiálem katody jsou sloučeniny LiCoO_2 , LiMn_2O_4 , nebo LiNiO_2 , materiálem anody je uhlíková matrice, připravená např. z grafitizovaných částic koksu, ale i jinak. Matrice musí velmi dobře přijímat ionty lithia, ale také je snadno uvolňovat.

Děj probíhající na kladné elektrodě:

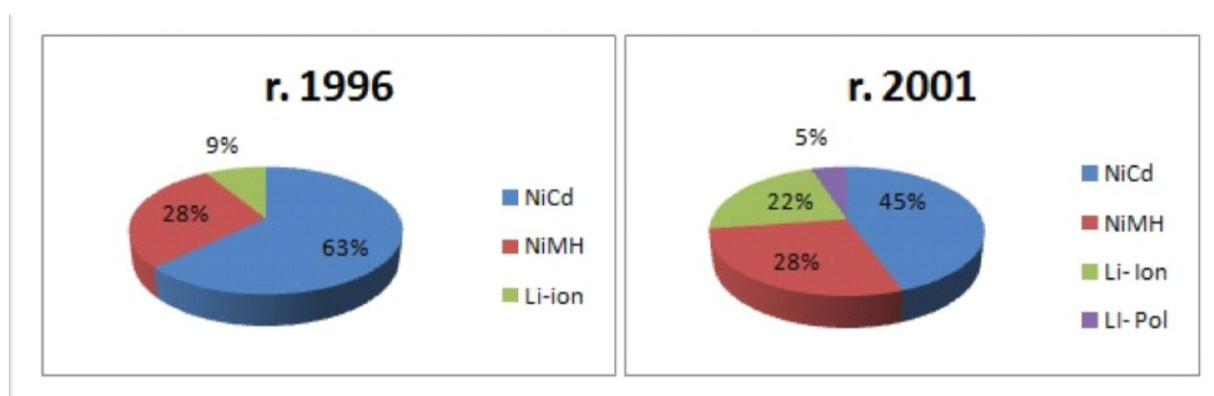


Obr. 18 Li-Ion akumulátor a jeho vnitřní struktura. [36]

Parametry a aplikace

Jelikož se tento typ akumulátorů stále vyvíjí a dnem ode dne se zlepšují jejich parametry, jsou většinou všechny hodnoty pouze teoretické. Tyto akumulátory mají poměrně vysoké napětí článku, pohybuje se okolo 3,7 V. Vysoká energie. V porovnání s akumulátory na bázi niklu je energie až 4x větší. Výjimkou není ani nízká hmotnost, která průměrně dosahuje okolo 40 gramů. Dlouhá životnost – při správném zacházení lze dosahovat 500 – 1500 cyklů a jak bylo již zmíněno, vývoj Li-Ionových akumulátorů neustále pokračuje. Nemají tzv. paměťový efekt, hodnota samovybíjení se uvádí okolo 8% za měsíc, jsou nezávadné pro životní prostředí. Tyto akumulátory mají také řadu nevýhod. Z vlastních zkušeností víme, pokud máme mobilní telefon s Li-Ion baterií a trávíme mnoho času na

horách, jezdíme v mrazivých podmínkách, tak náš mobilní přístroj se zanedlouho vypne. Provozní teplota těchto akumulátorů je -20°C , což v porovnání s NiCd akumulátorem je rozdíl dalších 20 stupňů celsia. Nabíjecí proud je ve většině případů omezen na $1,5 I_t$ – nabíjení se provádí konstantním napětím, plně je akumulátor nabit za 2–3 hodiny oproti NiCd akumulátorům, které lze dobýt i během 15 minut. Každý Li-Iontový akumulátorový článek má sice bezpečnostní ventil, který se za posledních deset let zdokonalil tak, že již nedochází k deformacím nebo explozi akumulátorů. Velice špatným zacházením, jako je třeba zkratování nabitého akumulátoru nebo nabíjením velkým proudem bez napěťového omezení, ale k jeho deformaci nebo explozi ještě dojít může. Sami výrobci přiznávají, že Li-Iontové akumulátory ještě nesplňují všechny parametry dané normou ČSN EN 61960-1. Zejména zkoušky týkající se přiměřeně předvídatelného nesprávného použití, jako je právě zkrat nebo přebíjení, které simuluje selhání funkce nabíječe. Proto na trhu můžeme objevit pouze Li-Iontové akumulátory, včetně elektroniky, jako náhradní zdroje pro předem určená zařízení jako jsou mobilní telefony, notebooky, videokamery apod. V těchto akumulátorech elektronika plní funkci nejen bezpečnostní, ale i funkce regulace nabíjecího napětí a regulaci výstupního napětí.



Obr. 19 Podíly jednotlivých akumulátorových systémů na trhu v roce 1996 a 2001. [9]

Obr. 19 vypovídá o rozvoji použitých lithiových článků v roce 2001 oproti 1996 (údaje jsou vztažné na výrobu v množství kusů). V žádné odborné literatuře nebyl nalezen podíl akumulátorových systémů pro jakýkoliv vyšší rok než 2001, ale podle odborných článků a jejich specifikací by se dalo předpokládat, např. že v roce 2010 bylo procentuální zastoupení akumulátorů podobné jako v roce 1996, ale s tím rozdílem, že trh ovládaly lithiové baterie a v jejich závěsu byli baterie na bázi niklu.



Obr. 20 Li-Ion akumulátor. [shop-online.cz]

([9], [34], [36])

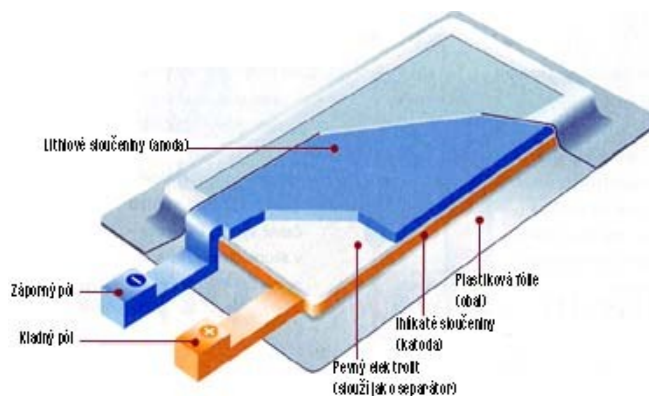
4.5.2 Li-Pol akumulátor

Historie

Lithium-polymerový akumulátor (Li-Pol, LiPo) je relativně nový typ elektrického akumulátoru. Používá se téměř ve všech osobních elektronických zařízeních (např. mobilní telefony, fotoaparáty, notebooky, RC modely). Jsou vyvinuty z Lithium-iontových akumulátorů (Li-Ion) a tak zlepšují jejich vlastnosti (nízká hmotnost, relativně vysoká kapacita, minimální samovybitení a velká výkonnost).

Elektrochemická reakce, princip

Li-Pol akumulátory jsou vlastně vylepšené lithio-iontové akumulátory, které těží ze změny elektrolytu. Na Li-Ion akumulátorech se pracuje od 60. let minulého století, nejobvyklejším designem je uhlíková anoda (používají se buď grafitové, nebo z „amorfního“ uhlíku, který má proti grafitu oslabenou krystalickou mřížku a lepší vodivé vlastnosti) a katoda z různých kovových solí. Elektrolyt je ve formě vodivého polymeru (většinou polyethylenoxid), tzv. vysokomolekulární látky. Každý článek musí být v pevném a těsném pouzdře, což ovlivňuje tvar vyrobeného akumulátoru. Li-Pol články nerozpouští lithiovou sůl v „ředidle“, ale vážou ho do pevného polymerického kompozitu (obvykle v konzistenci tužšího gelu) nejčastěji na bázi oxidů polyethyenu nebo polyakrylonitrilu.



Obr. 21 Li-Pol akumulátor a jeho vnitřní struktura. [36]

Parametry a aplikace

Lithium-Polymerové články a baterie jsou dnes prakticky nejpokročilejší používanou variantou skladování elektrické energie, přesto je na trhu používá sotva desetina výrobků. Odpověď není nijak zvlášť složitá, je to cena. U notebooků tvoří akumulátor 10% celkové ceny, u netbooků více než 15% a s miniaturizací přístrojů tento poměr dále roste.

Největším benefitem je jednoznačně nejvyšší hustota uchovávané energie, tedy nejmenší hmotnost a objem při stejném množství uchovávané energie. Druhou výhodou je pak vysoký počet nabíjecích cyklů, výrazně se liší použitím článku, ale střední hodnota se nejčastěji udává kolem 1000 cyklů před poklesem na 80 % původní kapacity. Další výhody i nevýhody pak mají lithiové baterie společné, ať už jde o -Ion nebo -Pol technologii. Jsou jimi zejména resistance vůči paměťovému efektu, minimální samovybíjení, vyšší jmenovité napětí (3,6 V oproti NiCd článkům s 1,2 V) při stejném objemu či kapacitě, navíc jsou výrazně lehčí, což je u mobilních zařízení velice významný ukazatel.

Nevýhodami je především relativní obtížnost nabíjení i vybíjení, které si vyžádaly do všech článků vkládat logické obvody (čipy). Baterie stárne, tedy pomalu ztrácí kapacitu, ať už je či není používána (projevuje se zhruba po 2 a více letech), vadí jí úplné vybití, které může článek zcela zničit, stejně jako přebíjení a vysoké teploty, kdy hrozí výbuch nebo vznícení. Články se před použitím neformují, nesmí se tedy několikrát plně nabít a zcela vybit, to je vhodné pouze pro NiCd a Ni-MH akumulátory, lépe je nechat ještě před prvním použitím dobít. Nikdy nenecháváme zcela vybit, pro nejdelší životnost je vhodné je dobíjet často, nejlépe pokud mají ještě kolem 40% kapacity. Nemají paměťový efekt, nijak je tím tedy neničíte (na rozdíl od NiCd a Ni-MH akumulátorů). Články by se neměly vystavovat vysokým teplotám, zejména u notebooků musí uživatel věnovat pozornost nastavení chlazení – často používaný silent mód nebo notebook uložený v peřinách může znamenat výrazné (a zbytečné) snížení životnosti článku. Při vysokých teplotách (např. na okně auta v parném létě) může článek v krajním případě vzplanout či vybuchnout. A také musíme počítat s tím, že za nízkých teplot (obecně pod bodem mrazu) článek ztrácí až 50 % své kapacity a časté vystavování těmto teplotám výrazně zkracuje počet pracovních cyklů.

Výhody Li-Pol, Li-Iont oproti bateriím na bázi niklu:

- velké kapacita na malém rozměru,
- menší samovybíjení,
- větší nominální napětí,
- větší životnost,
- rychlé nabíjení.

Nevýhody Li-Pol, Li-Iont oproti bateriím na bázi niklu:

- vyšší cena,
- kapacita klesá při nepoužívání článku,
- při špatné manipulaci může dojít k vznícení nebo výbuchu,
- akumulátor, který není více jak rok používán, může vytuhnout. Akumulátor přestane fungovat,
- menší provozní teplotní rozsah.

([9], [15], [21], [36])



Obr. 22 Li-Pol akumulátor. [shop-online.cz]

4.5.3 Lithium-železo fosfátový akumulátor

Historie

LiFePO₄ objevil John Goodenough z výzkumné skupiny na Texaské univerzitě v roce 1996 jako vhodný katodový materiál pro dobíjecí lithiové baterie. Je to nejnovější typ nabíjecí baterie na bázi lithia.

Elektrochemická reakce, princip

Jeho struktura je podobná lithium-iontovému článku, tudíž i jeho princip činnosti je podobný. Využívá chemických reakcí s Lithiem a proto má i podobné vlastnosti jako Li-Ion baterie. Anoda zůstala vyráběna ze stejného materiálu, ale katoda je tvořena z LiFePO₄, jindy jsou označovány jako LFP akumulátory.

Parametry a aplikace

Li-FePO₄ články mají vyšší vybíjecí proud při špičkových odběrech, váží méně, jsou netoxické, ale mají nižší napětí a hustotu energie než běžné Li-Iontové články, což je zase kompenzováno pomalejšími ztráty kapacity. Jejich životnost se pohybuje přibližně u hranice 2000 cyklů. Díky dostupnosti železa se snižuje i cena tohoto prototypu baterie. Pro vylepšení vlastností a zvýšení vnitřní vodivosti se částice Li-FePO₄ obohacují vodivými materiály (uhlík, extrémně čisté polovodiče). U

těchto článků nedochází k přehřívání a hranice havárií způsobené vysokou teplotou je až u hranice 800°C, při této teplotě může dojít k explozi akumulátoru. Li-FePO₄ článek je schopný 2000 až 7000 cyklů do degradace baterie na 80% jeho původní kapacity. Tyto baterie jsou velice oblíbené v modelářském odvětví, své uplatnění našli i v automobilovém průmyslu.

Výhody Li-FePO₄ oproti Li-Pol, Li-Iont bateriím:

- odolnost proti tepelným účinkům,
- výrobní cena (dovozce převážně Čína),
- Li-FePO₄ článek má už po roce užívání zhruba stejnou energetickou hustotu jako obvyklý LiCoO₂ Lithium-iontový akumulátor.

Nevýhody Li-FePO₄ oproti Li-Pol, Li-Iont bateriím:

- nižší energetická kapacita,
- u zcela nových LFP bylo zjištěno, že předčasně selžou, pokud jsou "hluboko cyklovány" (vybity pod úroveň 33 %).

([16], [17], [22])

4.5.4 Lithium-vzduchový akumulátor

Historie

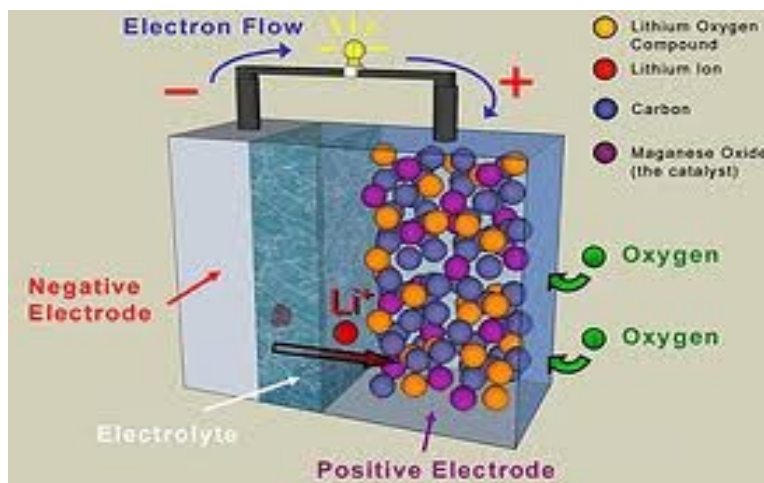
V roce 2010 přišli angličtí výzkumníci z Univerzity St. Andrews spolu s partnery z Newcastle s novou zprávou. Vyvinuli nový zásobník energie na bázi lithium-vzduch.

Elektrochemická reakce, princip

Článek je složen ze záporné elektrody, elektrolytu a kladné porézní uhlíkové elektrody. Při vybíjení lithiové ionty, které se formují na anodě, procházejí přes elektrolyt a v pórech kladné uhlíkové elektrody dochází k jejich reakci s kyslíkem ze vzduchu a elektrony.

Elektrochemické děje v průběhu nabíjení a vybíjení je možno velmi zjednodušeně popsat pomocí následující rovnice:





Obr. 23 Princip Li-Air akumulátoru [30]

Překlad k obr.: Lithium Oxygen Compound – sloučenina lithia a kyslíku, Lithium Ion – iont lithia, Carbon – uhlík, Manganese Oxid (the catalyst) – katalyzátor, Oxygen – kyslík, Positive electrode – kladná elektroda, Electrolyte – elektrolyt, Negative electrode – záporná elektroda, Electron Flow – tok elektronů

Parametry a aplikace

Tato poměrně nová technologie akumulčních baterií slibují několikanásobně vyšší kapacitu a nižší hmotnost, než v případě klasických Li-Ion akumulátorů. Tento typ baterií by mohl významně zvýšit rozsah nabízených elektrických vozidel díky tomu, že tyto akumulátory mají vysokou energetickou hustotu, která by se teoreticky mohla rovnat energetické hustotě benzínu. Prozatím žádná jiná známá baterie nemá tak vysokou energetickou hustotu jako Li-Air. Tyto akumulátory by mohly pojmout až 5-10krát více energie než lithium-iontové baterie při stejné hmotnosti a dvojnásobné množství energie při stejném objemu.

Značnou nevýhodou je malý cyklus nabíjení a vybíjení, momentálně se životnost pohybuje okolo 50 cyklů. Tyto baterie jsou stále ve vývoji a ke komerčním účelům se ještě prakticky nevyužívají. Tato metoda je jednou z neslibnějších cest, kudy by se mohla akumulace ubírat. ([29], [30], [31], [37])

4.6 Ostatní akumulátory

4.6.1 RAM

Historie

Zatím nejdokonalejší technologie tohoto druhu byla vyvinuta výzkumným týmem Battery Tech Technologies Inc. (BTI) v Kanadě, a to pod vedením profesora Karla Kordesche, autora původní technologie alkalické baterie z šedesátých let.

Elektrochemická reakce, princip

Katoda je tvořena slisovanými kroužky oxidu manganičitého (MnO_2), nasyceného grafitem za účelem zvýšení vodivosti. Tyto kroužky jsou zalisovány do poniklovaného ocelového kalíšku, tvořícího pouzdro a zároveň kladný vývod článku. Anoda je z žele, nasycené práškovým zinkem a separátor je netkaná textilie nebo celofán.

Parametry a aplikace

RAM - (angl. Rechargeable Alkaline Manganese) jsou alkalické burelové články, pro které se v Česku vžilo nesprávné označení alkalický akumulátor. Alkalickým akumulátorem jsou i NiCd i NiMH i lithiové akumulátory. Vývoj a výroba těchto článků v počátcích byla uskutečňována právě pro potřeby přístrojů s LCD displejem, které jako zdroj používaly jeden článek. Ať už to bylo hlavně pro pagery nebo jiné přístroje jako kalkulačky apod. Vyrábí se v základních komerčních velikostech AAA, AA, C a D. Předností RAM baterií proti NiCd a NiMH akumulátorům je především jejich nízké samovybití a větší jmenovité napětí článku (1,5V). Proto mohou být s výhodou používány v nízko odběrových zařízeních. Zcela nevhodné jsou pro napájení přístrojů vyžadujících střední nebo větší proudy, jako jsou hračky, notebooky, občanské radiostanice, vysílače pro řízení modelů apod. Pro nabíjení RAM baterií se používají speciální nabíječe, což jsou v podstatě zdroje konstantního napětí (1,6 až 1,65 V) s omezením proudu.

Výhody oproti ostatním bateriím:

- prodávají se plně nabitě, a jsou tedy ihned připraveny k použití,
- dlouhá skladovatelnost,
- netrpí vůbec paměťovým efektem. Naopak je vhodné dobít je co nejčastěji, což má příznivý vliv na jejich celkovou životnost. Čím dříve je totiž započato jejich nabíjení, tím menší chemické změny v nich nastanou a tím vyšší kapacitu si uchovají pro další cyklus,

- stejně jako klasické alkalické baterie netrpí RAM články téměř vůbec samovybíjením a vydrží proto v nabitém stavu 4-5 roků, na rozdíl od článků NiCd a NiMH,
- jsou ekologicky naprosto "čisté", a je tudíž možné je likvidovat prostým zahozením do odpadkového koše.

([25], [26], [9])

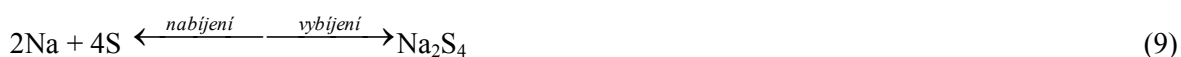
4.6.2 Sodíkovo-sírový akumulátor (NaS)

Historie

Tyto akumulátory (z angl. Sodium-Sulfur Battery) byly vyvíjeny jako náhrada za olověné akumulátory, které lze považovat za ekologicky nešetrné, s nízkou životností a s mnoho provozními problémy.

Elektrochemická reakce, princip

Sodíko-sírový akumulátor se skládá z tekutého sodíku a tekuté síry. Tento systém má elektrolyt tvořen pevnou keramickou strukturou s příměsí hliníku a oxidu hlinitého. Pro dosažení co nejmenších ztrát a co nejvyššího výkonu je provozní teplota elektrody udržována okolo 300 °C až 350 °C. Celá buňka je obklopena ocelovou kotrrou potažená většinou chromem, aby nepodléhala korozi.

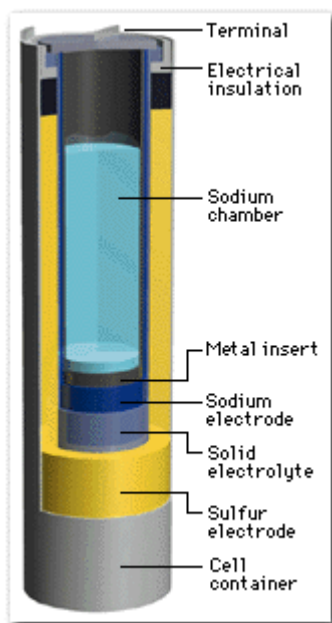


Parametry a aplikace

Jejich hustota energie je třikrát vyšší než u olověných akumulátorů a zabírají třikrát méně prostoru. Díky různým kombinacím zapojení lze řídit a docílit mnoho různých výstupních výkonů i celkovou naakumulovanou energii. Tento systém akumulace energie není hlučný, nezpůsobuje vibrace, je šetrný vůči životnímu prostředí a neprodukuje žádné znečišťující látky. Jmenovité napětí článku je 2V. Jednotlivé články se spojují dle potřeby do sério-paralelních sítí dle potřeby podle výkonu daného modulu. Účinnost této technologie je přibližně 90 % a životnost se udává okolo 15 let při 2500 100% vybíjecích cyklech, kdy při této hodnotě neztratí ani 1 % své kapacity. Při 4500 cyklech kdy jsou 100% vybité, dosahují přibližně 80 % své původní kapacity.

Největší NaS instalovaný systém je 34 MW pro větrnou stabilizaci v severním Japonsku. (17x2MW). Používají se k uložení elektrické energie vyrobené v noci. Tato energie se pak využívá pro pokrytí odběrových špiček (ve dne je výstup baterií kombinovaný s větrnou energií).

Vzhledem ke své vysoké hustotě energie je akumulátor NaS navržen a využíván i pro kosmické aplikace.



Obr. 24 NaS akumulátor a jeho vnitřní struktura. [23]

Překlad k obr.: Terminal – víko, Electrical insulation – elektrická izolace, Sodium chamber – sodíková komora, Metal insert – kovová vložka, Sodium electrode – Sodíková elektroda, Solid electrolyte – pevný keramický elektrolyt, Sulfur electrode – sírová elektroda, Cell container – kryt (obal)

([23], [24])



Obr. 25 NaS akumulární systém, Rokkasho, Japonsko, (17 baterií po 2 MW). [cleantechblog.com]

5 SROVNÁNÍ ZÁKLADNÍCH PARAMETRŮ VŠECH ZMIŇOVANÝCH DRUHŮ AKUMULÁTORŮ

Tab. 1 Srovnání základních parametrů všech zmiňovaných druhů akumulátorů

Parametr	energie/hmotnost [W.h/kg]	Samovybíjení/měsíc [%]	Životnost [cyklů*/let]	Napětí článku [V]
Alkalický článek	1	7 let*	1 ⁺	1,5
Olověný akumulátor	30-40	3.20	500-800/(3-10let)	2
Akumulátor NiCd	40-60	10	500-850/(20 let)	1,2
Akumulátor NiMH	60-120	15-30	400-700	1,2
Akumulátor NiZn	100	8	200-500	1,6
Akumulátor NiFe	30-50	20-30	4000/(25let)	1,2
Akumulátor AgZn	130	zanedbatelná	200-1000	1,55
Akumulátor Li-Ion	200	5	500-2000/(2-5let)	3,7
Akumulátor Li-Pol	200	4	500-2000	3,7
Akumulátor Li-Air	4000	zanedbatelná	50	-
Akumulátor LFP	90-110	5	2000	3,3
RAM akumulátor	-	1	25-200	1,5
NAS akumulátor	90-120	žádné	4500/(15let)	2

* na hodnotu 80% kapacity, ⁺ jedná se o primární článek (nenabíjitelný)

6 POROVNÁNÍ JEDNOTLIVÝCH TECHNOLOGIÍ

6.1 Výhody a nevýhody daných akumulčních technologií

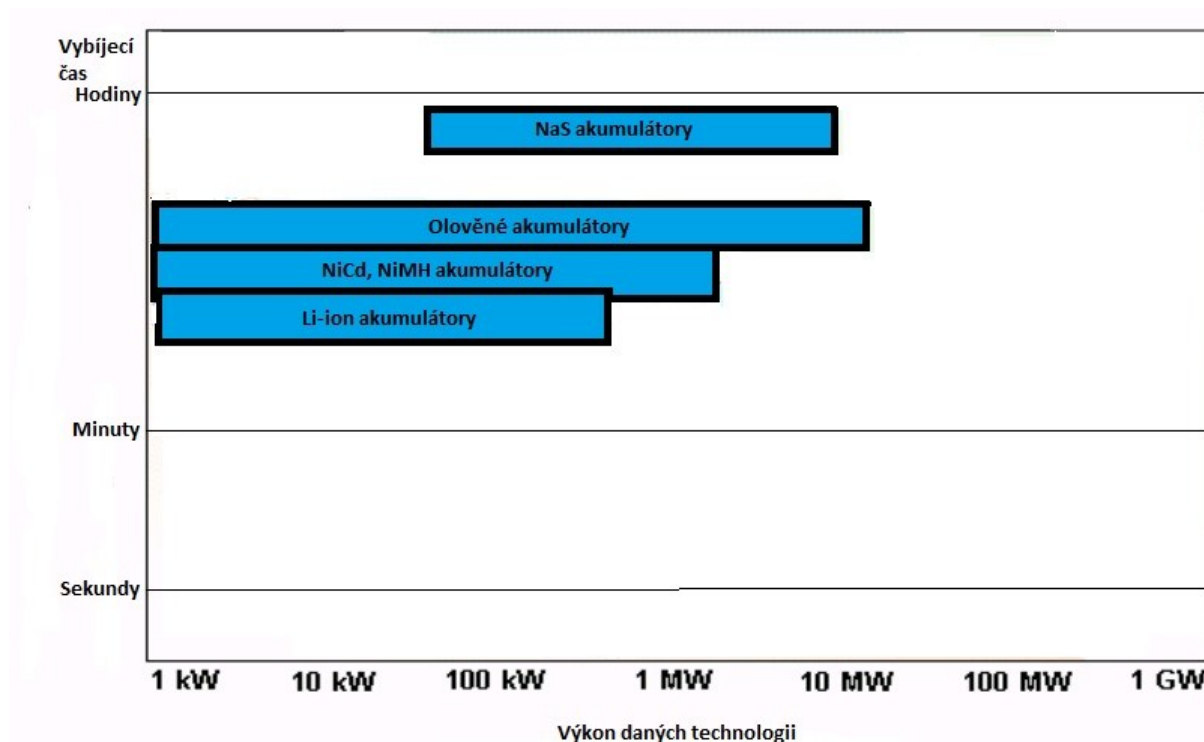
Všechny jmenované akumulční baterie jsou založeny na principu přeměny chemické energie na energii elektrickou a naopak. Dnešní technologie využívá mnoho výrobních procesů, mnoho použitých technologií a různých vnitřních složení baterií, ale i přes viditelný pokrok má každý produkt své nedostatky.

Olověné akumulátory jsou využívány hlavně kvůli jejich nízké ceně. Naopak mají krátkou životnost a finančně náročnou údržbu a následnou recyklaci. Jejich životnost a výkon je závislé na teplotě. Jsou využívány hlavně v automobilovém průmyslu pro startování automobilů využívající spalovací motory.

NiCd a NiMH akumulátory našly uplatnění díky svému nízkému vnitřnímu odporu. V 90. letech byly využívány především díky vysoké proudové zatížitelnosti, relativně malé změně napětí v průběhu vybíjení, odolnosti vůči mrazu a různým rázům a vibracím. Proto jsou vhodná pro napájení profesionálního akumulátorového nářadí. V dnešní době dochází k menšímu zániku těchto typů akumulátoru, a to z mnoha důvodů. Hlavním důvodem jsou lithiové baterie, které mají mnoho předností. S bateriemi na bázi niklu se setkáme hlavně v podobě AA a AAA baterií, které jsou běžně dostupné ve všech obchodech s elektronikou, v různých trafikách a stáncích.

V moderní spotřební elektronice se využívají přednostně lithiové baterie. Kvůli jejich složitosti je nabíjet jsou dostupné pouze jako integrované baterie v daných přístrojích. Samotná lithiová baterie není dostupná pro univerzální potřeby. Využívají se již ve všech nových notebookech, fotoaparátech až po videokamery.

V poslední době se objevila novinka Lithium-vzduchové technologie, která má až 10x větší kapacitu než Lithium-iontové technologie. Předpokládá se, že její hlavní uplatnění bude v automobilovém průmyslu. Tato technologie je poměrně mladá, a proto je zatím jen ve fázích zkoušek a pokusů, které povedou ke zlepšení této technologie do požadované úrovně.

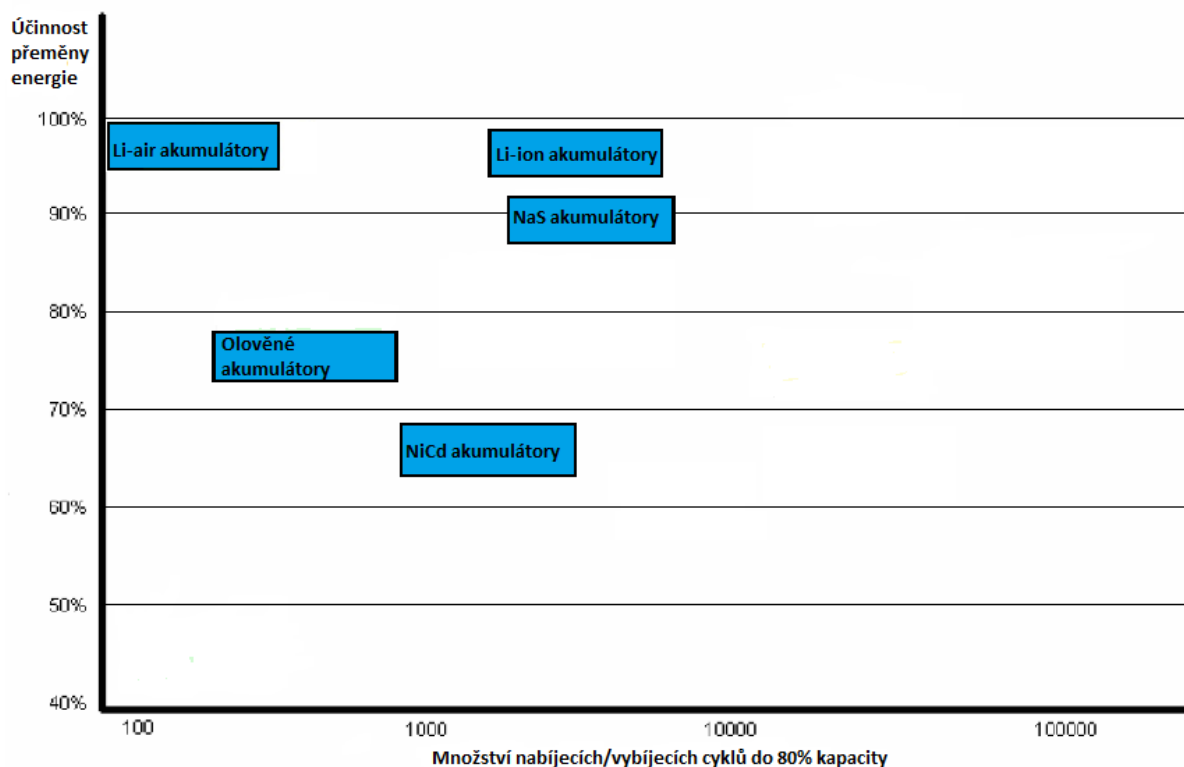


Obr. 26 Výkon/Vybíjecí čas daných technologií [28]

6.2 Účinnost a životnost akumulčních systémů

Účinnost a životnost jsou dva velice důležité pojmy, které mají velký vliv na cenu daných technologií. Účinnost je schopnost přeměny chemické energie na energii elektrickou a naopak. Nízká účinnost zvyšuje cenu produktů. V účinnosti jsou zahrnuty všechny ztráty způsobené přeměnou, samovybíjením a dalšími faktory ovlivňující tuto hodnotu. Zatím nebyl nalezen žádný typ baterie s účinností 100 %, nejvíce se ale těmito hodnotám přibližují baterie na bázi lithia.

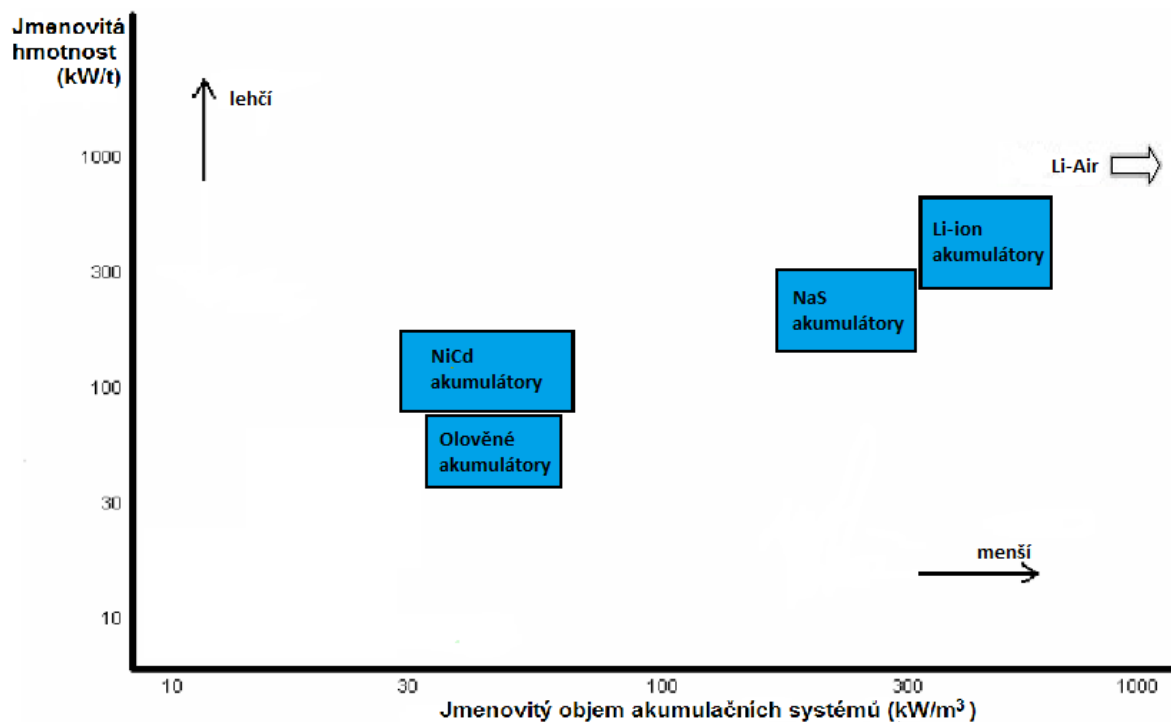
Životnost je schopnost baterií udržet si co největší hodnotu nabíjecích a vybíjecích cyklů, odolnost vůči různým fyzikálním změnám (sulfatace, paměťový efekt, opotřebení baterie nebo elektrod apod.). Krátká životnost má za následek nárůst nákladů, baterie je potřeba častěji vyměňovat, a proto roste cena.



Obr. 27 Účinnost/Životnost daných technologií. [electricitystorage.org]

6.3 Velikost a hmotnost akumulačních systémů

Další dva pojmy, díky kterým upřednostňujeme jeden typ baterie před druhým - hmotnost, hustota energie. V některých aplikacích ani tak nehledíme na hmotnost a velikost daných baterií, ale vyhledáváme především spolehlivost. Naopak u některých přístrojů se snažíme volit a hlavně vybírat baterie především kvůli váze. Hustota energie a hmotnost se liší způsobem výrobní technologie a velikostí obalů.



Obr. 28 Hmotnost/Energie daných technologií. [electricitystorage.org]



Obr. 29 Hmotnost Pb, NiCd a Li-Air akumulátorů. [37]

6.4 Poruchy a spolehlivost

U olověného akumulátoru se setkáváme se sulfatací, což způsobuje nevratné poškození elektrod. Sulfataci můžeme předejít skladováním olověného akumulátoru v nabitém stavu. Startovacím olověným bateriím neprospívají různé faktory. Například časté startování a krátká ujetá vzdálenost, kde se nestačí akumulátor dobít do plné kapacity. S tímto se setkáváme u sanitních vozů, taxislužeb,

kurýrních aut a podobně. Nejlepší prevencí je časté nabíjení, akumulátor se doporučuje dobíjet v těchto případech jednou za měsíc.

Jako nejspolehlivější baterie se uvádí baterie NiCd a NiMH. Jejich jedinečné vlastnosti umožňují použití v aplikacích a prostředích nepříjemných pro ostatní dostupné bateriové systémy. Ke snížení kapacity může dojít při dlouhodobém přebíjení. Přebíjením baterie se můžeme vyhnout včasným odpojením baterie z nabíječe.

Lithiové baterie jsou poměrně spolehlivé technologie, ale musíme si dát pozor na několik faktorů ovlivňujících jejich nevratné poškození. Baterie, která není více jak rok použita, může vytuhnout a stane se nepoužitelnou. Také si musíme dát pozor na pracovní teplotu, pokud vystavíme náš mobilní telefon s lithiovou baterií přímému záření slunce, může dojít k nafouknutí akumulátoru. Životnost se uvádí 2-5 let, ale technologie výroby velice postupuje a vědci již hlásí, že dokážou sestavit akumulátor s životností až 20 let.

NaS technologie je poměrně moderní technologie, která je navržena a vyvinuta především pro stabilizaci sítě a kosmické aplikace. Uvnitř akumulátoru docházelo ke korozi, které byly způsobeny agresivním chemickým prostředím, tento problém se vyřešil potažením izolátorů. ([32], [24])

7 ZÁVĚR

Seznámili jsme se základním rozdělením akumulátorů. Z práce je patrné, že je na trhu k dispozici široká škála možností, jak elektrickou energii uskladnit a zpětně využít. Každý z technologických principů výroby akumulátorů se liší, a proto každá baterie má své výhody a nevýhody. Akumulační baterie uskladňují energii v různých typech akumulátorů. Každý typ akumulátoru má jiné parametry, ať už jde o jmenovité napětí, kapacitu, ale i tvar. Budoucnost akumulace by mohly skrývat technologie NaS a Li-Air s vysokou účinností, které v sobě skrývají veliký potenciál. Následný vývoj není snadno odhadnutelný. Můžeme předpokládat jejich vylepšení, ale nikdo neví, jak rychle a dokonale bude. Naopak jsou akumulátory, které ztrácí pomalu na pozornosti (NiCd, NiMH). Díky této práci jsem se seznámil se zajímavou zahraniční i tuzemskou literaturou, která popisuje řadu technologií akumulace, ze kterých byly utříděny ty nejvyužívanější a technologie, které mají dostatečný potenciál, aby byly v blízké době uvedeny na trh.

LITERATURA

- [1] Primární články a baterie - BATTEX, [12.2.2013]
Dostupné z: <http://www.battex.info/primarni-clanky-a-baterie/definice>
- [2] Elektrické akumulátory obecně - BATTEX, [13.2.2013]
Dostupné z: <http://www.battex.info/elektricke-akumulatory-obecne/definice>
- [3] Akumulátor - Wikipedie. Wikipedie, otevřená encyklopedie [online]. 8. 3. 2013 [cit. 2013-04-30].
Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Akumul%C3%A1tor>
- [4] Nabíječe a nabíjení – Miroslav Arendáš, Milan Ručka – Populární elektronika sv. 6 SNTL, Nakl. technické literatury, 1978
- [5] Skoro vše o akumulátorech a nabíjení. 2008.
Dostupné z: <http://www.cezeta487.ic.cz/Documents/akumulatory.pdf>
- [6] Co jsou trakční akumulátory a trakční baterie?. Auto iDNES.cz – Vše o autech [online]. 2010 [cit. 2013-04-30]. Dostupné z: http://sdeleni.idnes.cz/co-jsou-trakcni-akumulatory-a-trakcni-baterie-fom-/auto-sdeleni.aspx?c=A100617_110509_auto-sdeleni_ahr
- [7] Akumulátory od principu k praxi [online]. 2003. vyd. FCC PUBLIC, 2003 [cit. 2013-04-30]. ISBN 80-86534-03-0. Dostupné z: http://www.fccpublic.cz/knihy/Knihy_ukazky_AKU.pdf
- [8] Jak na baterie NiCd a NiMH. In: Radiostanice pro profesionální použití i hobby PMR446 vysílačky se značkou Motorola - prodej CP040, TLKR T6, TLKR T8, GP340 a další skladem [online]. 2004 [cit. 2013-04-30]. Dostupné z: <http://www.cettra.cz/vysilackyradiostanice/MOTOROLA/Baterie-NiCd,-NiMH-.../Jak-na-baterie/20>
- [9] MAREK, Jiří a Lukáš STEHLÍK. Hermetické akumulátory v praxi. Nové Město n. C.: IN-EL, spol. s r. o., 2004, s. 4. ISBN 80-86230-34-1.
- [10] Nikl-metal hydridový akumulátor. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2013 [cit. 2013-04-30]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Niklmetal_hydridov%C3%BD_akumul%C3%A1tor
- [11] Nickel iron battery information [online]. 2012 [cit. 2013-04-30]. Dostupné z: <http://www.nickeliron-battery.com/>
- [12] Elektrické akumulátory obecně - BATTEX, [13.2.2013]
Dostupné z WWW: <http://www.battex.info/elektricke-akumulatory-obecne/hermetickeakumulatory/NiZn-akumulatory>
- [13] Nickel–zinc battery. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2013 [cit. 2013-04-30].
Dostupné z: http://en.wikipedia.org/wiki/Nickel%E2%80%93zinc_battery
- [14] Battery power, products & technology, [cit. 2013-04-30] Dostupné z: http://www.batterypoweronline.com/images/PDFs_articles_whitepaper_appros/ZPower.pdf

- [15] Li-Pol akumulátory - proč se nejpokročilejší technologie neprosazuje?. NOTEBOOK.cz - notebooky, testy, recenze [online]. 2011 [cit. 2013-04-30]. Dostupné z: <http://notebook.cz/clanky/technologie/2011/Li-Pol-akumulatory>
- [16] Custom Lithium Iron Phosphate. Custom Battery Packs & Assemblies - Lithium Battery Manufacturer - House of Batteries [online]. 2013 [cit. 2013-04-30]. Dostupné z: http://www.houseofbatteries.com/custom-batteries-custom-lithium-iron-phosphate-c-1_73-l-en.html
- [17] Lithium Iron Phosphate. Harding Energy Inc. - Home [online]. 2012 [cit. 2013-04-30]. Dostupné z: <http://hardingenergy.com/lithium-iron-phosphate/>
- [18] VANĚK, J.; KŘIVÍK, P.; NOVÁK - Alternativní zdroje energie. Brno, nakladatelství FEKT, 2006. Učební texty pro předmět magisterského studia "alternativní zdroje energie". VUT V Brně, skripta.
- [19] Recyklace baterií. Nej-Baterie.cz [online]. 2011 [cit. 2013-04-30]. Dostupné z: <http://www.nejbaterie.cz/content/5-recyklace-baterii>
- [20] NiZn akumulátory typu AA 2500 mAh. In: Www.produktinfo.conrad.com [online]. 2011 [cit. 2013-04-30]. Dostupné z: http://www.produktinfo.conrad.com/datenblaetter/250000-274999/252000-an-01-cs-NiZn_akumulatory_AA.pdf
- [21] Lithium-polymerový akumulátor. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2013 [cit. 2013-05-01]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Lithium-polymerov%C3%BD_akumul%C3%A1tor
- [22] Lithium-železo-fosfátový akumulátor. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2013 [cit. 2013-05-01]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Lithium-%C5%BEElezo-fost%C3%A1tov%C3%BD_akumul%C3%A1tor
- [23] Sodium Sulfur (NaS) Batteries. In: Electricity Storage - Welcome [online]. 2011 [cit. 2013-05-01]. Dostupné z: http://www.electricitystorage.org/search/structure_content/nas_batteries
- [24] Sodium-sulfur battery. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2013 [cit. 2013-05-01]. Dostupné z: http://en.wikipedia.org/wiki/Sodium%E2%80%93sulfur_battery
- [25] Alkalické akumulátory (RAM). In: Jaromír Buček - elektronické součástky [online]. [cit. 2013-05-01]. Dostupné z: http://www.bucek.name/stranky/popisy/alkalicke_akumulatory/alkalicke_akumulatory.htm
- [26] RAM baterie. Články, baterie a akumulátory | Abeceda baterií a akumulátorů | Abeceda baterií a akumulátorů [online]. 2009 [cit. 2013-05-01]. Dostupné z: <http://www.battex.info/hermetickeakumulatory/ram-baterie>
- [27] Akum_NiFe_NiCd.pdf – Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph. D. , - západoevropská univerzita v Plzni - skriptum
- [28] G1 and G2 Vanadium Redox Batteries for Renewable Energy Storage. Sydney. Dostupné z: http://www.eurosolar.org/new/pdfs_neu/electric/IRES2006_Skyllas-Kazacos.pdf. University of New South Wales.

- [29] Lithium-air batteries' high energy density could extend range of electric vehicles. Phys.org - Science News, Technology, Physics, Nanotechnology, Space Science, Earth Science, Medicine [online]. 2011 [cit. 2013-05-01]. Dostupné z: <http://phys.org/news/2011-02-lithium-airbatteries-high-energy-density.html>
- [30] Zásobník na báze Lithium – vzduch. Elektromobily.sk [online]. 2010 [cit. 2013-05-01]. Dostupné z: <http://elektromobily.sk/zasobnik-na-baze-lithium-vzduch>
- [31] Lithium Air - batteries on steroids - Energy Harvesting Journal [online]. [cit. 2013-05-01]. Dostupné z: <http://www.energyharvestingjournal.com/articles/lithium-air-batteries-on-steroids-00001594.asp?sessionid=1>
- [32] Technické informace, poradenství, zajímavosti a FAQ - BATTERY IMPORT s.r.o. [online]. [cit. 2013-05-01]. Dostupné z: <http://www.battery-import.cz/poradenstvi/>
- [33] Motorkáři.cz - bazar [online]. [cit. 2013-05-02]. Dostupné z: <http://www.motorkari.cz/clanky/jaknato/akumulator-3031.html?kid=644>
- [34] Používání Li-Ion akumulátorů v praxi | Li - akumulátory | Abeceda baterií a akumulátorů [online]. [cit. 2013-05-02]. Dostupné z: <http://www.battex.info/hermeticke-akumulatory/liakumulatory/pouzivani-Li-Ion-akumulatoru-v-praxi>
- [35] Josef Kozumplík – Olověné akumulátory - vydalo r. 1975, Nakladatelství dopravy a spojů jako svou 5479. publikaci, OS-31-028-75
- [36] Co s Li-Ion články. Použití LiIon článků a jejich údržba [online]. [cit. 2013-05-02]. Dostupné z: <http://www.cettra.cz/vysilacky-radiostanice/MOTOROLA/Baterie-NiCd,-NiMH-.../Co-s-Li-Ionclanky/22>
- [37] MIT hlásí další pokrok ve výzkumu nového typu baterií | Hybrid.cz [online]. [cit. 2013-05-02]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/clanky/mit-hlasi-dalsi-pokrok-ve-vyzkumu-noveho-typu-baterii>